

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Самойлина Евгения Александровича на диссертацию Саввина Сергея Викторовича «Алгоритмы обработки изображений с достижением эффекта сверхразрешения на основе методов оптимальной фильтрации и машинного обучения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Актуальность избранной темы. В настоящее время в условиях постоянного развития информационных систем видеомониторинга и компьютерного зрения все большую роль играют задачи обработки и интерпретации цифровых изображений. Однако эффективность решения этих задач в информационных системах напрямую зависит от качества поступающих на вход данных, которое выражается как в степени детализации входных графических материалов, так и в уровне их искажения, вызванного различного рода помехами и шумами. Данное обстоятельство приводит к необходимости производить в информационных системах предварительную алгоритмическую обработку входных данных с целью повысить их качество.

В рамках этого направления достаточно широко используются методы и алгоритмы сверхразрешения, которые повышают пространственное разрешение и детализацию поступающих на вход изображений с одновременной компенсацией воздействия помех. Однако в большинстве работ на данную тему рассматриваются только шумы аддитивного характера, в то время как аппликативным помехам уделяется недостаточное внимание. Воздействие аппликативных помех на изображения проявляется в возникновении на них областей ложных наблюдений, перекрывающих собой полезную информацию. В связи с тем, что пространственная локализация и значения ложных наблюдений, вызванных аппликативными помехами, носят случайный характер, возникает необходимость в специальной обработке изображений в интересах компенсации их воздействия.

Также стоит отметить, что существующие работы, рассматривающие синтез алгоритмов сверхразрешения в условиях аппликативных помех, основываются на использовании математических моделей данных с последующей обработкой в рамках статистической теории решений. При этом не уделяется достаточное внимание вопросу синтеза таких алгоритмов в условиях статистической неопределенности относительно параметров

используемых моделей и обоснованию адекватности используемых моделей данных (например, гауссовской модели данных).

Альтернативным подходом к синтезу алгоритмов сверхразрешения является использование методов машинного обучения и, в частности, сверточных нейронных сетей, хорошо зарекомендовавших себя при решении различных задач компьютерного зрения. Их использование предполагает наличие представительных обучающих выборок вместо формализованных математических моделей обрабатываемых данных.

В силу изложенного, тема диссертации Саввина С.В., направленная на разработку и исследование моделей и алгоритмов построения сверхразрешения с одновременной компенсацией воздействия аппликативных помех на основе методов оптимальной фильтрации и машинного обучения и их сопоставительного анализа, является *актуальной*.

Степень обоснованности научных результатов и положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В диссертации при получении практически каждого теоретического или экспериментального вывода приводится сравнительный анализ различных вариантов построения алгоритмов обработки информации и его детальная качественная и количественная интерпретация. Полученные при этом закономерности в целом соответствуют ожидаемым, вытекающим из общих законов науки и физического смысла задачи.

В своей работе автор адекватно использовал аналитические и вычислительные методы теории информационных процессов и систем: аппарат теории принятия статистических решений, методы теории вероятностей и математической статистики, методы и технологии машинного обучения. Все вышесказанное позволяет утверждать, что результаты представленной диссертации являются *обоснованными* в достаточной степени.

Достоверность научных результатов и положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность выносимых результатов диссертации подтверждается их понятной физической трактовкой, результатами применения взаимно дополняющих теоретических и экспериментальных методов исследования, их согласованностью, совпадением в ряде случаев с известными результатами. Для проверки адекватности синтезированных алгоритмов сверхразрешения использовались как теоретические методы – для получения итоговых соотношений, так и экспериментальные – вычислительные эксперименты с использованием реальных изображений.

Новизна научных результатов и положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, заключается в следующем.

1. Поставлена и решена задача синтеза комплексного итеративного алгоритма многокадрового сверхразрешения в условиях наличия аппликативных помех на входных изображениях на основе методов оптимальной фильтрации и двухэтапного алгоритма сегментации областей аномальных наблюдений. Данный алгоритм реализует общую итеративную схему обработки последовательности изображений низкого разрешения и позволяет учитывать статистическую неопределенность относительно параметров используемой математической модели наблюдаемых данных. Проведено исследование предложенного алгоритма, показавшее его преимущество перед аналогами в плане точности восстановления изображения высокого разрешения.

2. Предложен и обоснован двухэтапный алгоритм сегментации областей аномальных наблюдений на обрабатываемых изображениях, основанный на алгоритме суперпиксельной сегментации изображений и EM-алгоритме кластеризации суперпикселей с использованием интегрированных по области локализации каждого суперпикселя признаков. Получены обладающие новизной математические соотношения для вероятностей принадлежности элементов изображения к полезным и ложным (аномальным) наблюдениям, позволяющие включить результаты такой сегментации в процесс оптимальной условно-линейной фильтрации в рамках комплексного алгоритма многокадрового сверхразрешения.

3. Поставлена и решена задача синтеза алгоритмов многокадрового сверхразрешения в условиях наличия аппликативных помех на входных изображениях на основе использования методов машинного обучения в рамках общей схемы итеративной обработки. Данные алгоритмы опираются на использование ансамблей нейронных сетей для выполнения различных этапов обработки изображений. Представлена архитектура глубокой сверточной нейронной сети в виде направленного ациклического графа (DAG-сети), которая используется для повышения детализации обрабатываемого изображения на очередной итерации алгоритма. Проведено экспериментальное исследование синтезированных алгоритмов, показавшее преимущество алгоритма, основанного на использовании DAG-сети и выполнении этапа сегментации областей аномальных наблюдений, над другими в плане точности восстановления изображения высокого разрешения и быстродействия.

4. Поставлена и решена задача синтеза алгоритмов сверхразрешения для обработки видеоданных в условиях наличия аппликативных помех на входных кадрах на основе использования методов машинного обучения. Рассмотрены два подхода к данной задаче: на основе ранее рассмотренного алгоритма многокадрового сверхразрешения и на основе специальным образом сконструированной сверточной сети в виде направленного ациклического графа (DAG-сети). Проведено экспериментальное исследование синтезированных алгоритмов.

Значимость научных результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, для теории и практики.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что полученные методические и экспериментальные результаты отвечают потребностям важного направления развития современной науки, связанного с использованием математических и алгоритмических методов улучшения качества и детализации обрабатываемых изображений в условиях воздействия аппликативных помех и ограниченных возможностей средств регистрации и передачи данных. Предложенные в диссертации подходы к повышению разрешения изображений, использующие апостериорную информацию об областях аномальных наблюдений, могут быть использованы при проектировании информационных систем различного назначения. Полученные результаты позволяют производить выбор из альтернативных в методическом плане подходов к синтезу алгоритмов сверхразрешения в интересах использования наиболее подходящего к конкретной задаче подхода.

Практическая значимость диссертации определяется возможностью применения предложенных моделей, алгоритмов и программных решений для разработки информационных систем, предназначенных для обработки графических данных, которые могут быть подвержены воздействию аппликативных помех. Универсальность синтезированных моделей и алгоритмов в плане разрешений входных и выходных изображений, а также размеров входных последовательностей изображений, позволяют использовать их в разнообразных задачах анализа цифровых изображений (например, в системах видеонаблюдения, анализа спутниковых изображений и т.д.).

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на 6 международных научных и научно-технических конференциях. Результаты работы опубликованы в достаточной степени: общее число публикаций – 11,

в том числе 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК, из которых 4 статьи индексируются в БД Scopus и Web of Science.

В целом, следует отметить, что представленная диссертация является завершённой работой, в которой достаточно подробно и логично изложены постановка и решение рассматриваемых задач, перечислены особенности применяемых при исследовании подходов и методики получения результатов. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания и недостатки диссертации. Вместе с тем, по диссертации Саввина С.В. можно отметить следующие замечания и недостатки.

1. При проведении исследования комплексного алгоритма многокадрового сверхразрешения на основе двухэтапного алгоритма сегментации областей, подверженных воздействию аппликативных помех, не указаны значения параметров алгоритма сегментации, использованные в ходе эксперимента.

2. В главе 2 утверждается, что используемый в работе подход к адаптивной фильтрации в условиях статистической неопределённости относительно параметров моделей данных, несколько уступает в точности классическому, значительно превосходя его в быстродействии, однако не приводятся количественные данные такого сравнения.

3. В выражении (2.6) для адаптивной фильтрации оценка изображения высокого разрешения зависит от количества используемых информативных блоков, при этом не указано как от этого параметра зависят точность и быстродействие алгоритма.

4. При исследовании алгоритмов сверхразрешения видеоданных рассмотрен только один вариант построения модифицированной DAG-сети для случая, когда размер скользящего окна равен 7 кадрам.

Тем не менее, указанные замечания и недостатки в целом не снижают теоретическую и практическую значимость научных результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и носят в большей степени рекомендательный характер.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

В целом диссертация Саввина Сергея Викторовича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи синтеза алгоритмов обработки изображений с достижением эффекта сверхразрешения на основе методов оптимальной фильтрации и машинного обучения, имеющей значение для развития систем обработки информации, систем управления и принятия решений в условиях помех. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные

результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Диссертация соответствует специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Вывод: диссертация «Алгоритмы обработки изображений с достижением эффекта сверхразрешения на основе методов оптимальной фильтрации и машинного обучения» соответствует критериям п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Саввин Сергей Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Официальный оппонент:

профессор 54 кафедры 5 факультета Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации доктор технических наук, профессор

« 8 » сентября 2022 г.

Самойлин Евгений Александрович
электронная почта: es977@mail.ru

Подпись официального оппонента Самойлина Е.А., д.т.н., профессора, профессора 54 кафедры 5 факультета ВУНЦ ВВС «ВВА», ЗАВЕРЯЮ.

Помощник начальника строевого отдела ВУНЦ ВВС «ВВА»

« 02 » _____ 2022 г.

А.С. Саввин

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации (ВУНЦ ВВС «ВВА»)

Почтовый адрес: 394064, г. Воронеж-64, ул. Старых Большевиков, д. 54а;
тел.: +7 (473) 244-78-53, +7 (473) 244-77-40; факс: +7 (473) 226-47-52;

официальный сайт: vva.mil.ru; электронная почта: vva@mil.ru